

EFEITOS HEMODINÂMICOS DE rTMS E ESTIMULAÇÃO POR PULSO ÚNICO NO CÓRTEX MOTOR PRIMÁRIO

Larissa Conceição Dias Lopes^{1*}; *Suzana Carolina do Nascimento Smanioto*²;
*Escarlathy Suelen Mercante Ferrarezi*³; *Tiago Silva Lopes*⁴, *Thaiany Pedrozo
Campos Antunes*⁵, *João Ricardo Sato*⁶; *Abrahão Fontes Baptista*⁷; *Yossi Zana*⁸.

1. *Larissa Conceição Dias Lopes*. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. cdias.larissa@gmail.com (ORCID: 0000-0002-7648-4879)

2. *Suzana Carolina do Nascimento Smanioto*. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. suzanacnascimento23@gmail.com (ORCID: 0000-0001-6415-3936)

3. *Escarlathy Suelen Mercante Ferrarezi*. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. eskarlathy@hotmail.com (ORCID: 0009-0002-0923-8966)

4. *Tiago Silva Lopes*. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. tslopes.physio@gmail.com (ORCID: 0000-0001-8280-240X)

5. *Thaiany Pedrozo Campos Antunes*. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. thaiany.antunes@ufabc.edu.br (ORCID: 0000-0002-8682-1285)

6. *João Ricardo Sato*. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. joao.sato@ufabc.edu.br (ORCID: 0000-0002-7503-9781)

7. *Abrahão Fontes Baptista*. Escola de Fisioterapia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. afbaptista@fisioterapia.ufrj.br (ORCID: 0000-0001-7870-3820)

8. Yossi Zana. Centro de Matemática, Computação e Cognição. Universidade Federal do ABC, São Bernardo do Campo, São Paulo, Brasil. yossi.zana@ufabc.edu.br (ORCID: 0000-0003-0539-7492)

*Autor apresentador

Palavras-chave: Brain Stimulation; Functional Neuroimaging; Near-Infrared Spectroscopy; Transcranial Magnetic Stimulation.

Introdução: A estimulação magnética transcraniana repetitiva (rTMS) modula a atividade cerebral, especialmente no córtex motor primário¹, com aplicações clínicas em diferentes distúrbios²⁻³. A rTMS de baixa frequência apresenta efeito supressor da excitabilidade cortical e tem sido utilizada em diversas patologias⁴⁻⁵. Apesar das evidências de alterações corticais após rTMS⁶, poucos estudos investigam respostas hemodinâmicas locais, como a oxi-hemoglobina. Este estudo objetivou caracterizar as respostas hemodinâmicas corticais à rTMS de 1 Hz e à estimulação por pulso único no córtex motor primário esquerdo (C3) por meio da espectroscopia funcional no infravermelho próximo (fNIRS).

Materiais e Métodos: Estudo experimental com medidas repetidas intra-sujeito, aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal da UFABC (CAAE: 77099224.5.1001.5594). Foram incluídos adultos saudáveis (18-59 anos), de ambos os sexos, sem doenças cardiovasculares ou neurológicas, elegíveis para TMS. A rTMS foi aplicada em C3, com intensidade de 120% do limiar motor de repouso, em 20 trens de 10 segundos a 1 Hz, com intervalo de 50 segundos. Na condição de pulso único, foram aplicados 20 pulsos, com intervalo de 60 segundos. As variações nos níveis de $\Delta[\text{HbO}_2]$ foram monitoradas via fNIRS (Fig. 1). A análise foi realizada utilizando Satori, Excel e Python.

Resultados/Discussão: Participaram do estudo 10 indivíduos (idade média: $28,40 \pm 12,17$ anos; 70% do sexo feminino). Um participante foi excluído devido a variações excessivas no sinal de fNIRS, sendo classificado como outlier (n=9). A análise temporal por canal (Fig. 2) mostrou que a rTMS promoveu redução de $\Delta[\text{HbO}_2]$ nos canais do hemisfério esquerdo (S1-D2, S1-D4, S2-D1, S2-D3, S2-D4 e S3-D1),

correspondentes à região estimulada, sugerindo modulação hemodinâmica associada à redução da atividade cortical. No hemisfério direito, as respostas foram mais variáveis. A análise agrupada por hemisfério (Fig. 3) confirmou maior redução média de $\Delta[\text{HbO}_2]$ no hemisfério esquerdo durante a rTMS, enquanto no hemisfério direito houve menor amplitude e maior variabilidade. Em comparação ao pulso único, a rTMS apresentou padrão mais organizado e lateralizado, indicando efeito ipsilateral. Esses achados evidenciam a sensibilidade do fNIRS na detecção de alterações hemodinâmicas induzidas pela neuromodulação.

Conclusão: Os achados sugerem que a rTMS de baixa frequência aplicada sobre o córtex motor primário esquerdo produz modulação hemodinâmica mais pronunciada e lateralizada que a estimulação por pulso único, evidenciada pela redução de $\Delta[\text{HbO}_2]$ nos canais ipsilaterais. Esse padrão é compatível com efeito cortical local, coerente com o perfil inibitório da rTMS de 1 Hz, reforçando o potencial do fNIRS como ferramenta sensível para o monitoramento da neuromodulação.

Financiamento: Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - 88887.939716/2024 00) e pelo Programa Equipamentos Multiusuários da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (EMU-FAPESP 2023/16997-6).

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflitos de interesse relacionados a este manuscrito.

Referências:

1. Ni Z, Pajevic S, Chen L, Leodori G, Vial F, Avram AV, et al. Identifying transcranial magnetic stimulation induced EEG signatures of different neuronal elements in primary motor cortex. Clin Neurophysiol. 2022;141:42-52. doi:10.1016/j.clinph.2022.06.012.

2. Lefaucheur JP, André-Obadia N, Antal A, Ayache SS, Baeken C, Benninger DH, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clin Neurophysiol.* 2014;125(11):2150-206. doi:10.1016/j.clinph.2014.05.021.
3. Rossi S, Hallett M, Rossini PM, Pascual-Leone A. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research. *Clin Neurophysiol.* 2009;120(12):2008-2039.
4. Antal A, Alekseichuk I, Bikson M, Brockmüller J, Brunoni AR, Chen R, et al. Low intensity transcranial electric stimulation: safety, ethical, legal regulatory and application guidelines. *Clin Neurophysiol.* 2017;128(9):1774-809. doi:10.1016/j.clinph.2017.06.001.
5. Todd G, Flavel SC, Ridding MC. Low-intensity repetitive transcranial magnetic stimulation decreases motor cortical excitability in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2006;101(2):500-5. doi:10.1152/japplphysiol.01399.2005.
6. Chen J, Fan Y, Wei W, Wang L, Wang X, Fan F, Jia Z, Li M, Wang J, Zou Q, Chen B, Lv Y. Repetitive transcranial magnetic stimulation modulates cortical-subcortical connectivity in sensorimotor network. *Eur J Neurosci.* 2022 Jan;55(1):227-243. doi: 10.1111/ejn.15571. Epub 2021 Dec 23. PMID: 34905661.

Figuras

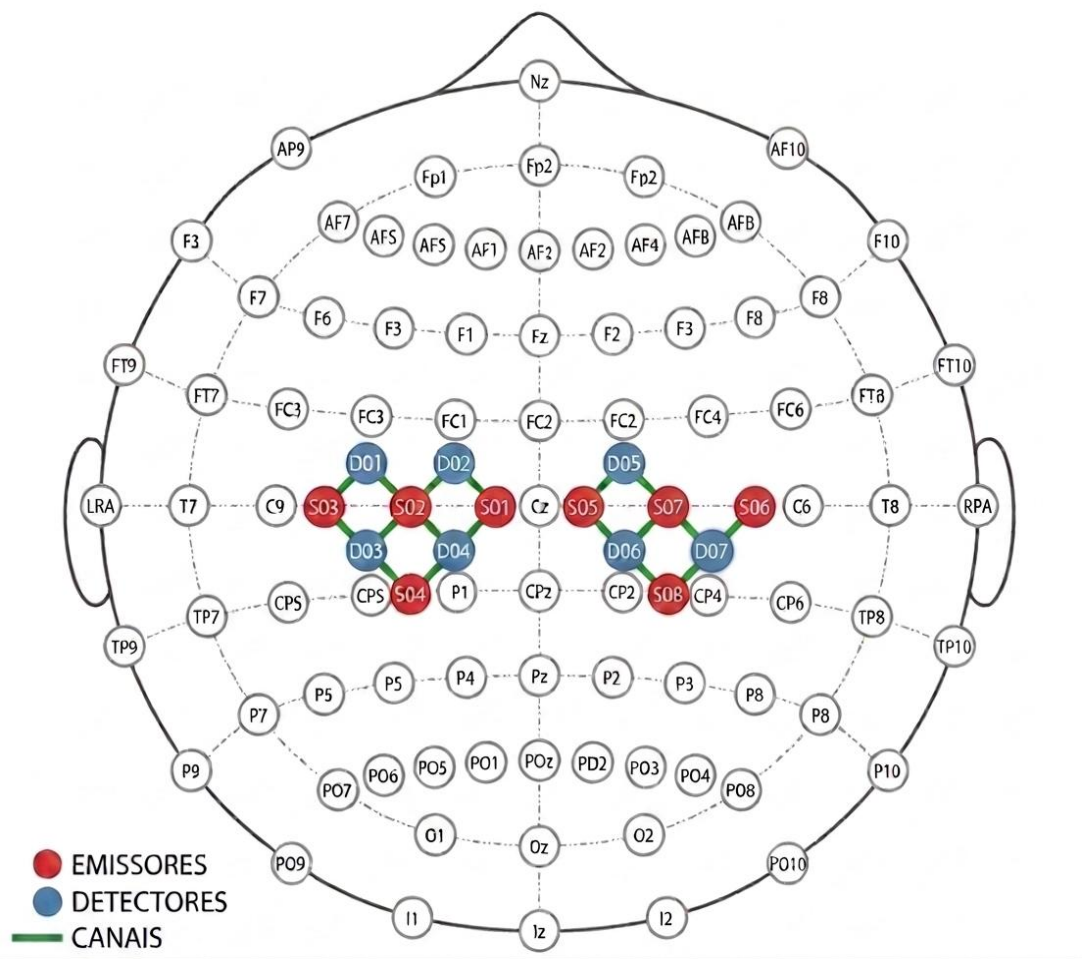


Figura 1. Configuração dos optodos de fNIRS.

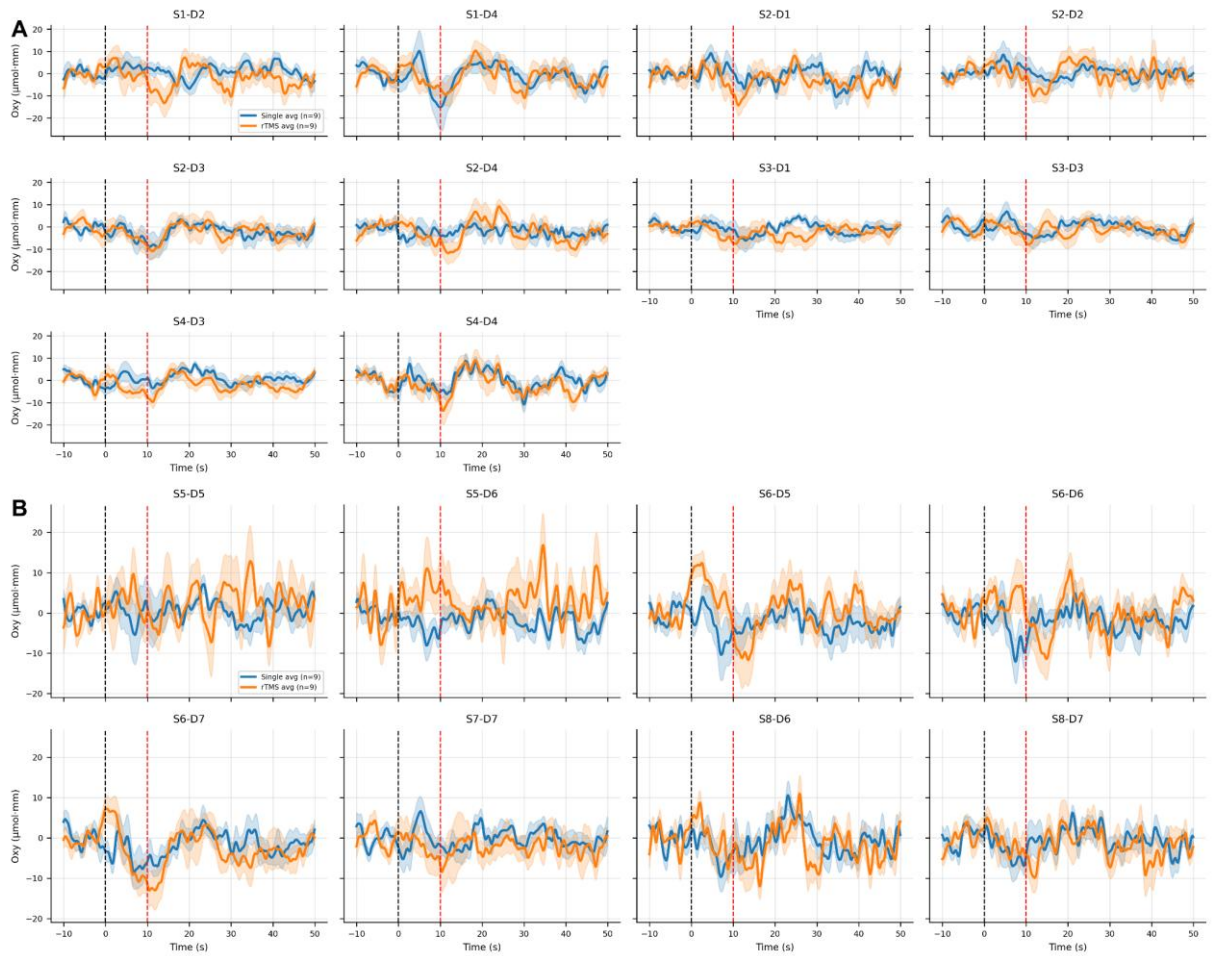


Figura 2. Médias e erro padrão das médias de $\Delta[\text{HbO}_2]$ por canal, comparando rTMS e pulso único. (A) hemisfério esquerdo; (B) hemisfério direito. A rTMS apresentou maior redução e consistência no lado estimulado.

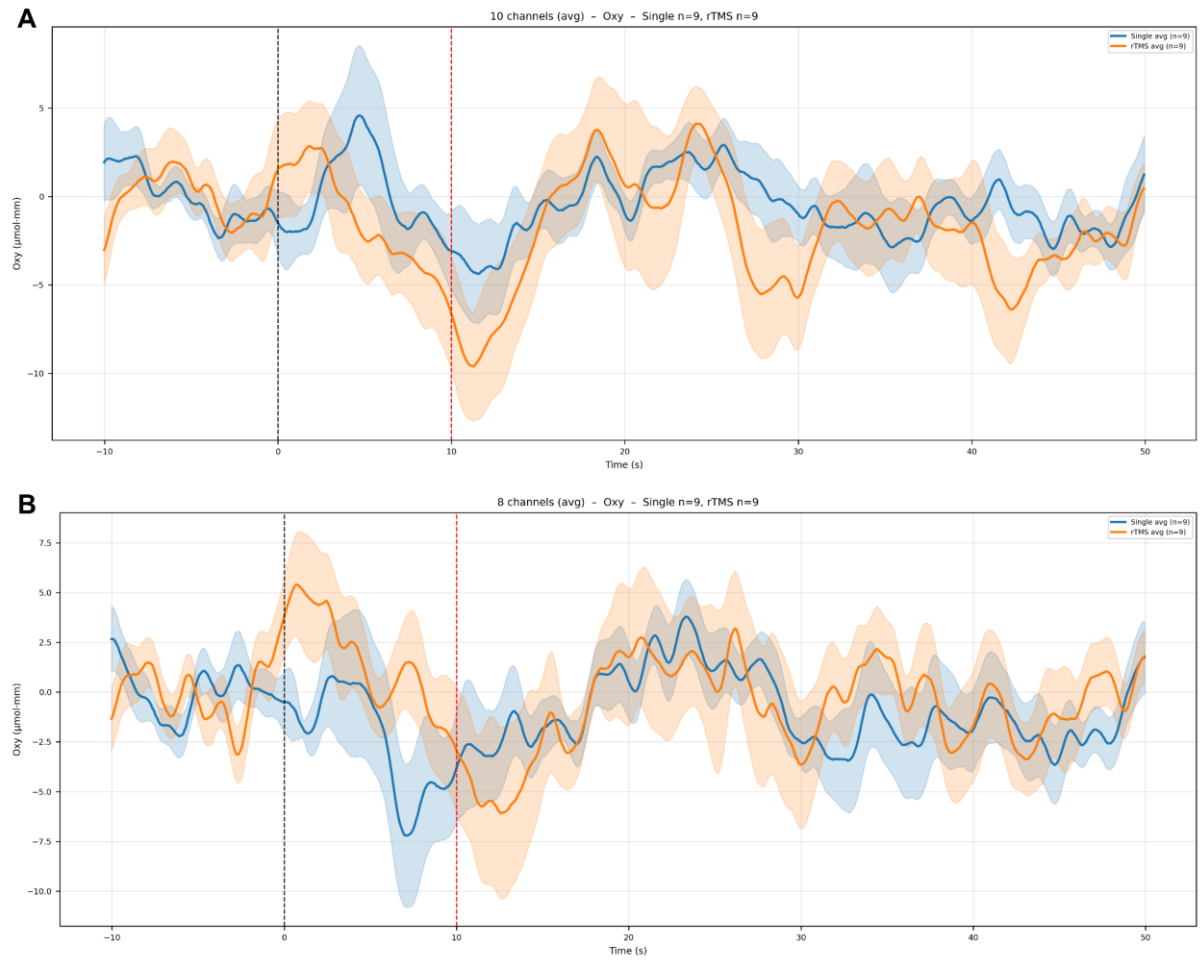


Figura 3. Médias e erro padrão das médias de $\Delta[HbO_2]$ por hemisfério: (A) esquerdo e (B) direito, comparando rTMS e pulso único. A rTMS apresentou maior redução de $\Delta[HbO_2]$ no hemisfério esquerdo.